





# Impacto das mudanças climáticas sobre o nível de renda na América Latina

## *Impact of climate change on income level in Latin America*

José Alex do Nascimento Bento<sup>1</sup> , Jair Andrade de Araujo<sup>1</sup> , Francisco José Silva Tabosa<sup>1</sup> , Wellington Ribeiro Justo<sup>2</sup> 

<sup>1</sup>Programa de Pós-graduação em Economia Rural, Universidade Federal do Ceará (UFC), Fortaleza (CE), Brasil. E-mails: josealex18@yahoo.com.br; jairandrade@ufc.br; franzetabosa@ufc.br

<sup>2</sup>Programa de Pós-graduação em Economia Regional e Urbana, Universidade Regional do Cariri (URCA), Crato (CE), Brasil. E-mail: justo@yahoo.com.br

**Como citar:** Bento, J. A. N., Araujo, J. A., Tabosa, F. J. S., & Justo, W. R. (2024). Impacto das mudanças climáticas sobre o nível de renda na América Latina. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, 62(2), e268031. <https://doi.org/10.1590/1806-9479.2022.268031>

**Resumo:** Este estudo avalia a vulnerabilidade das economias latino-americanas, medida pelo PIB *per capita*, a precipitação e flutuações de temperatura, a fim de analisar como esses países são afetados pelas condições climáticas. O Método de Momentos Generalizados Diferenciado (MMG-DIF) foi utilizado para verificar a influência das variáveis climáticas, juntamente com indicadores econômicos, no nível de atividade econômica. Os resultados indicaram que extremos de precipitação, medidos pelo *Standardized Precipitation Index* (SPI), são as influências climáticas dominantes no crescimento econômico, e que os efeitos são significativos e negativos. A *dummy* de Seca foi associada a uma influência positiva no PIB *per capita*, enquanto a *dummy* de inundação, Chuva, foi associada a uma influência negativa para os países latino-americanos. Constatou-se que a temperatura tem efeito significativo menor do que a precipitação.

**Palavras-chave:** mudanças climáticas, crescimento econômico, América Latina.

**Abstract:** This study assesses the vulnerability of Latin American economies, measured by GDP per capita, to precipitation and temperature fluctuations, in order to estimate how these countries are affected by climatic conditions. The Differentiated Generalized Moments Method (DIF-GMM) was used to verify the influence of climatic variables, together with economic indicators, on the level of economic activity. The results indicated that precipitation extremes, as measured by the Standardized Precipitation Index (SPI), are the dominant climatic influences on economic growth and that the effects are significant and negative. The Drought dummy was associated with a positive influence on GDP per capita, while the flood dummy Rain was associated with a negative influence for Latin American countries. It was found that temperature has a significantly lower effect than precipitation.

**Keywords:** climate changes, economic growth, Latin America.

## 1 INTRODUÇÃO

A crescente conscientização sobre os efeitos prejudiciais das mudanças climáticas chama a atenção dos formuladores de políticas públicas sobre os impactos econômicos relacionados ao clima. Economistas e estudiosos do clima fazem uso das projeções baseadas em modelos de mudanças de temperatura e precipitação produzidos por um conjunto de Modelos de Circulação Geral (MCGs) para esse fim.

Esse fenômeno, *in hoc sensu*, manifesta-se de várias maneiras, tais como, aumento da temperatura média global, elevação do nível do mar, redução da criosfera, modificações dos padrões de precipitação (inundações e secas) e de eventos climáticos extremos (como o *El Niño* e *La Niña*).

Ademais, impactos negativos significantes foram observados em determinadas áreas geográficas, e aqueles relativamente modestos quando agregados em escala global (Tol, 2002).



De acordo com Hallegatte et al. (2015), a mudança climática impõe um grande efeito sobre as condições socioeconômicas da população mundial: até 2030, de três a 16 milhões de pessoas, na realidade de *prosperity* (mais otimista), encontram-se sob pobreza extrema, e de 35 a 122 milhões de pessoas, considerando a realidade *poverty* (mais pessimista) estão nessa mesma condição, em consequência das mudanças climáticas.

Especificamente, nos países latino-americanos, observou-se que as alterações no clima têm consequências prejudiciais sobre o desenvolvimento econômico e social. As reduções da renda monetária induzidas pelo clima não são homogêneas. As mudanças climáticas irão beneficiar algumas regiões frias no curto prazo. Em contraste, atingirão outras regiões de modo severo, principalmente as mais pobres. Em 2080, a média dos declínios da renda monetária estimados de todos os modelos climáticos é bastante significativa, em torno de 14% para a América Latina (Hallegatte et al., 2015).

Como resultado dessa exposição e de tal vulnerabilidade, desastres naturais aumentaram as desigualdades e são passíveis de contribuir para a redução do crescimento econômico e aumento da pobreza. Não é surpreendente que desastres naturais sejam investigados e denotem resultados que agravam ou pioram as condições socioeconômicas. Nos municípios mexicanos, de 2000 a 2005, inundações e secas aumentaram os níveis de pobreza de 1,5% até 3,7% (Rodríguez-Oreggia et al., 2013).

Em termos de longo prazo, para os países latino-americanos, esperam-se a expansão de áreas de sequeiro e mais períodos de seca extrema, principalmente, no México e no Nordeste do Brasil. Ademais, para a população mais pobre, com o aumento do volume de chuvas, os influxos negativos ocorrem no abastecimento de água local, na pecuária e na produção de pequenos agricultores (Hallegatte et al., 2015).

As consequências de desastres relacionados ao clima dependem de vários parâmetros, como, por exemplo: a intensidade do perigo em si (tempestades, seca, inundações, entre outros) e a vulnerabilidade atual da área atingida (Crichton, 1999). Com a mudança climática projetada, descrita como padrões irregulares de precipitação e temperatura em toda América Latina, combinando-se com estruturas econômicas e vulnerabilidades diferentes, as consequências sobre o nível de renda previsíveis. Portanto, a melhor compreensão das consequências de desastres relacionados com o clima nos países latino-americanos é particularmente importante para o planejamento de políticas nas áreas de desenvolvimento, adaptação à mudança no clima na contextura nacional, e a alocação de recursos financeiros entre os países.

A maioria dos estudos concentra-se, principalmente, nos efeitos da temperatura nas economias, usando regressões global ou continental, fornecendo compreensão limitada da vulnerabilidade e dinâmica de risco no âmbito de países. Além disso, a precipitação (incluindo secas e inundações) é amplamente não incluída nas análises por ser considerada uma variável de controle ou ignorada em alguns casos.

Nesta pesquisa, expandiu-se a análise para avaliar se a mudança climática é um impedimento ao crescimento econômico em países da América Latina, onde a exposição a essa variabilidade é alta. Além disso, de um ponto de vista mais específico, os efeitos diretos de uma seca ou de uma inundação quantificam-se em termos dos danos que causam, no entanto, esses efeitos se acumulam. Desse modo, permitiu-se a formulação da seguinte hipótese: a mudança climática e, especificamente, condições de secas e inundação, contribuem para uma redução geral do bem-estar e/ou um empecilho para o aumento da renda *per capita*?

Este artigo tem como objetivo descrever a vulnerabilidade das economias latino-americanas, medida pelo PIB *per capita*, a precipitação e flutuações de temperatura, a fim de estimar como

esses países são afetados pelas condições climáticas. Em específico, verifica o impacto dos extremos de precipitação.

A base de dados utilizada, em sua maior parte, foi obtida em World Bank (2020), enquanto a outra parte corresponde à *Polity IV Project* e *International Energy Agency* (US Energy Information Administration, 2020).

Para realizar a avaliação das sensibilidades dos países latino-americanos às variações climáticas e econômicas, louvou-se no método de regressões em painel dinâmico, em específico, o Método de Momentos Generalizados Diferenciado (MMG-DIF).

O modelo desenvolvido para este artigo satisfaz dinamicamente as três dimensões de desastre e riscos climáticos, considerando a exposição, vulnerabilidade e perigos (Crichton, 1999; Intergovernmental Panel on Climate Change, 2012, 2014). Além disso, a diferença de publicações anteriores que incluíram países da América Latina, tais como as de Nordhaus (2011), Sánchez & Reyes (2015) e Brown et al. (2013), reside na análise dos impactos de desastres relacionados ao clima e mudanças climáticas realizadas no plano nacional, com inclusão de novas variáveis. Os efeitos da variabilidade e mudança do clima são introduzidos separadamente para cada país de 1990 a 2019, seleção temporal que foi relacionada à disponibilidade de dados. Observações socioeconômicas antes de 1990, incluídas na base de dados do Banco Mundial, permanecem limitadas.

A novidade deste estudo está na estimação, em painel dinâmico, para verificar até que ponto as mudanças climáticas são suscetíveis de influenciar o progresso das economias latino-americanas. Os resultados terão implicações significativas para avaliar os custos das mudanças climáticas e para o diálogo contínuo sobre os melhores meios de adaptação às condições desfavoráveis do clima.

Demais disso, os planejadores, muita vez, prosseguem sem uma compreensão dos efeitos climáticos e seus impactos na sociedade. Como resultado, a temperatura é geralmente usada como única variável preditiva. Por meio desta análise, são fornecidas algumas evidências de que condições extremas de precipitação constituem um dos fatores que deve ser adicionado ao planejamento de ações para adaptar os países às mudanças climáticas.

O artigo está organizado da seguinte maneira: a segunda seção descreve a literatura sobre as alterações climáticas na América Latina. A base de dados e os métodos econométricos utilizados são descritos na terceira seção, enquanto os principais resultados estão o quarto segmento. As considerações finais, por sua vez, estão delineadas e discutidas no quinto módulo.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O objetivo desta seção é sintetizar o modo como os principais expoentes da temática exploram os impactos das mudanças climáticas no nível de renda, dando ênfase para a América Latina, foco do escrito ora relatado.

A região tem múltiplos fatores de estresse nos sistemas naturais e humanos, derivados, em parte, de mudanças significativas no uso da terra, direcionadas a para crescente pressão de usos concorrentes, como pecuária, produção de alimentos e bioenergia, e exacerbadas pela variabilidade climática. Nas Américas Central e do Sul, 613 eventos climatológicos extremos, ocorridos no período de 2000-2013, resultaram em 13.883 fatalidades, 53,8 milhões de pessoas afetadas e perdas econômicas de US\$ 52,3 bilhões (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2014).

As condições climáticas atualmente experimentadas alertam para impactos socioeconômicos e ambientais sem precedentes. Limitando o aquecimento global abaixo de 1,5° C, até o final

do século XXI, reduzir-se-ia a ocorrência de problemas extremos relacionados ao clima, como ondas de calor, se comparadas com um cenário em que a temperatura média global atingisse os 2° C em 2100. Diminuindo a ocorrência de tais efeitos extremos, são passíveis de existir benefícios socioeconômicos significativos (Nangombe et al., 2018).

Um grande problema induzido pelas mudanças climáticas é o aumento nos preços agrícolas. Nesse sentido, as regiões serão afetadas de maneiras muito diferentes, pois na pior das circunstâncias, os preços aumentariam em três por cento até 2030 e em 12 por cento até 2080 na América Latina (Stevanović et al., 2016; Hallegatte et al., 2015).

A alta vulnerabilidade setorial e sua importância socioeconômica explicam a grande quantidade de estudos com foco principal no setor agrícola. Numerosas publicações modelaram e estimaram os impactos potenciais das mudanças climáticas sobre a agricultura na América Latina. A maioria das publicações traz em seus resultados projeções que apontam aumento nos indicadores de pobreza e nos preços agrícolas, bem assim diminuição na produção e renda monetária agrícolas (Rosenzweig et al., 2014; Burke et al., 2015).

As mudanças climáticas, também, são passíveis de operar influxos na produtividade do trabalho em todas as regiões latino-americanas. As variações na temperatura, considerando o pior cenário (aumento de 4 a 5° C), e até certo ponto nos níveis de umidade, provavelmente, afetarão a produtividade dos trabalhadores, pois muitos já estão laborando em locais com temperaturas bastante elevadas. Independentemente da motivação psicológica ou incentivo econômico, o aumento da Temperatura de Globo de Bulbo Úmido (TGBU) afetará a produtividade dos trabalhadores e, provavelmente, sua saúde (Kjellstrom et al., 2009).

A literatura evidencia que as mudanças climáticas afetam o nível de renda e suscitam a ideia de que a adaptação a essas alterações é necessária para o desenvolvimento econômico. Os efeitos diretos e indiretos dos perigos das alterações do clima, no entanto, são capazes de influenciar o crescimento econômico na escala das economias nacionais? Poucos estudos abordam esta matéria diretamente.

Alguns experimentos tentaram quantificar o efeito do clima no crescimento econômico, concentrando-se, quase inteiramente, nas mudanças nas condições climáticas médias (Tol, 2002).

Outros estudos, embora reconhecendo o impacto potencial do clima e de sua variabilidade, o classificaram como um subcomponente “geográfico” (Sachs, 2001). Nessa abordagem usando um método de análise *cross-country*, os resultados foram incapazes de especificar efeitos geográficos significativos que seriam distintos de outros fatores institucionais (Sachs & Malaney, 2002; Rodrik et al., 2004).

Nas últimas décadas (2000-2020), foi destacada a importância da variabilidade anual ou mudanças no clima sobre o crescimento econômico. Brown & Lall (2006) usaram estatísticas de precipitação e variabilidade da temperatura em uma análise do nível econômico entre países, descobrindo que os países pobres tenderam a ter níveis mais elevados de variabilidade de precipitação. Indicaram uma relação de quanto maior a variabilidade da precipitação menor era o PIB *per capita*.

Usando dados econômicos e climáticos em contexto nacional em uma avaliação global, Dell et al. (2009) avaliaram os efeitos de variações anuais na precipitação nos últimos 50 anos como meio de estimar potenciais impactos econômicos das mudanças climáticas. Seus resultados indicaram que temperaturas mais altas tiveram consequências negativas nos países pobres. Os efeitos nos países pobres não se limitaram à produção agrícola, pois encontraram impactos na produção industrial, investimento e estabilidade política, ao passo que não houve efeitos econômicos nos países ricos.

O Continente Africano apresenta investigações dos efeitos da variabilidade climática sobre o crescimento econômico. Essas economias são suscetíveis de ser mais vulneráveis, em decorrência dos baixos níveis de infraestrutura e de menores mecanismos de adaptação às mudanças extremas no clima.

Utilizando um amplo volume de dados econômicos do Continente Africano, Christiaensen et al. (2002) descobriram que as variações de chuva e problemas de saúde têm efeitos profundos sobre a pobreza, sugerindo a necessidade de mecanismos de proteção social contra esses extremos.

Já Barrios et al. (2008) forneceram uma visão ampla das maneiras em que as chuvas afetaram as atividades econômicas na África. Suas investigações empíricas na produção agrícola e crescimento do PIB constataram que o declínio das chuvas ocorrido de 1960 a 1990, em grande parte, foi um dos principais contribuintes para a redução nas taxas de produção e crescimento durante esse período. De acordo com suas estimativas, o declínio da precipitação foi responsável por uma queda de 9 a 23% no PIB *per capita*, em relação aos níveis, sem existir essa redução no volume de precipitação.

Uma desvantagem comum em estudos anteriores que tentaram avaliar os impactos do clima, empiricamente, é o formato dos dados de precipitação usados. Como os indicadores socioeconômicos são mais amplamente disponíveis nacionalmente, os de ordem climática também devem ser agregados às escalas espaciais nacionais para uso em análise. Normalmente, empregam uma média espacial de precipitação e temperatura de um determinado país. Esta média introduz um viés sistemático no volume de chuvas projetado e na temperatura, em razão do efeito de suavização que a média causa (Brown et al., 2013).

Baarsch et al. (2020) cuidaram desse assunto, mostrando um modelo em que o volume de chuvas afeta as atividades econômicas na África. Os autores recorreram ao *Standardized Precipitation Index* (SPI). Suas investigações empíricas mostraram a existência de perdas médias de 10 a 15% do PIB *per capita*, e que a maioria das economias africanas está mal adaptada às suas atuais condições climáticas. A análise levantou aspectos sobre a capacidade de os países africanos atingirem suas metas de desenvolvimento sustentável, o risco crescente de instabilidade, migração, a diminuição das oportunidades de comércio e cooperação econômica, como consequências das mudanças climáticas, exacerbando suas consequências negativas.

Este artigo segue o trabalho de Baarsch et al. (2020) de duas maneiras. Primeiro, foram incorporados os efeitos dos perigos das condições extremas da precipitação, no lugar das condições médias, objeto de estudos que alguns trabalhos utilizaram. Em segundo lugar, utilizou-se o índice (SPI), que descreve instrumentos de variabilidade de precipitação mais eficaz do que a média do país ou média ponderada da população, usada em estudos anteriores. Com isso, reportou-se a uma estatística de precipitação que preserva sua característica espacial, calculando a porcentagem da área de um país que fica abaixo ou acima dos limites com base em desvios da média de longo prazo. Ao fazer isso, separou-se e se tratou, independentemente, os efeitos positivos e negativos das anomalias de precipitação. Isso permite que os efeitos não lineares da variabilidade da precipitação sejam efetivamente investigados.

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 Base de dados

Nesta análise, foram empregadas as regressões em painel dinâmico, com o produto interno bruto *per capita* como variável dependente, os indicadores econômicos e climáticos como

variáveis independentes, com vistas a diagnosticar os efeitos econômicos no contexto nacional, decorrentes dessas interações.

O período considerado foi de 29 anos, de 1990 a 2019, para todos os países latino-americanos<sup>1</sup>, com as variáveis utilizadas em series anuais (para os quais há dados socioeconômicos disponíveis). As principais considerações que levaram a esta seleção temporal foram relacionadas à disponibilidade de dados. Observações socioeconômicas antes de 1990, incluídas na base de dados do Banco Mundial, permanecem limitadas.

O Quadro 1 contém a base de dados utilizada na pesquisa e a comparação das variáveis utilizadas nas principais referências empíricas na literatura sobre o tema desenvolvido.

**Quadro 1** – Base de dados: Socioeconômicos e climáticos; e principais referências nos trabalhos empíricos.

Tipos de dados	Variáveis	Fonte dos dados utilizados	Principais referências		
			Baarsch et al. (2020)	Brown et al. (2013)	Burke et al. (2015)
			Variáveis	Variáveis	Variáveis
Climáticos	Precipitação	(World Bank, 2020).	Precipitação	Precipitação	Precipitação
	Temperatura	(World Bank, 2020).	Temperatura	Temperatura	Temperatura
Socioeconômicos	PIB <i>per capita</i>	(World Bank, 2020)	PIB <i>per capita</i>	Crescimento PIB	PIB <i>per capita</i>
	Preço do óleo	(US Energy Information Administration, 2020)	Preço do óleo	Valor adicionado agrícola do PIB	Valor adicionado agrícola do PIB
	Índice de Governança	(Marshall et al., 2019)	Índice de Governança	Valor adicionado industrial do PIB	
	Gastos	(World Bank, 2020)	Despesas de consumo final do governo	Pobreza	Valor adicionado não agrícola do PIB
	Remessas	(World Bank, 2020)	Remessas	Taxa de efetivos na linha nacional de pobreza	
	Dívida externa	(World Bank, 2020)	Total da dívida externa		
	Abertura comercial	(World Bank, 2020)	Abertura comercial		
	Assistência recebida	(World Bank, 2020)	Assistência recebida		

Fonte: Elaborada pelos autores.

A variável econômica selecionada para mensurar possíveis impactos das mudanças climáticas foi o PIB *per capita* em dólares dos Estados Unidos (US\$). A utilização do PIB *per capita* é mais adequada ao comparar diferenças generalizadas nos padrões de vida entre as nações. Assim, o PIB *per capita* é frequentemente considerado um dos indicadores do padrão de vida de um país (World Bank, 2020).

Os indicadores econômicos utilizados foram:

<sup>1</sup> Argentina, Bolívia, Brasil, Chile, Colômbia, Costa Rica, Cuba, Equador, El Salvador, Guatemala, Haiti, Honduras, México, Nicarágua, Panamá, Paraguai, Peru, República Dominicana, Uruguai e Venezuela.

- a) volume total da dívida externa em dólares (Dívida) – representa o somatório dos débitos de um país, resultantes de empréstimos e financiamentos contraídos no exterior pelo próprio governo, por empresas estatais ou privadas;
- b) remessas pessoais recebidas em dólares (Remessas) – compreendem transferências pessoais e remuneração dos funcionários sendo realizadas de indivíduos não residentes para os residentes;
- c) despesa com consumo do governo em dólares (Gastos) – incluem todas as despesas correntes do governo para compras de bens e serviços;
- d) a *Official Development Assistance* (ODA), ou assistência oficial de desenvolvimento líquida *per capita* em dólares (Assistência) – consiste em desembolsos de empréstimos feitos em termos de concessão para promover o desenvolvimento econômico e o bem-estar dos países;
- e) abertura comercial, em percentual, é medido como a soma das exportações e importações de um país em relação ao seu PIB. Todas estas variáveis foram obtidas em World Bank (2020);
- f) democracia (Governança) – índice que mede o nível de democracia de determinado país. Varia de -10 a 10, correspondendo a autocracia até a democracia plena, respectivamente. Essa variável foi obtida em *Polity IV Project* para mais detalhes ver Marshall et al. (2019); e
- g) preço do óleo: preço F.O.B à vista em dólares por barril, obtido na *International Energy Agency* (US Energy Information Administration, 2020).

Os indicadores climáticos são temperatura e precipitação, a primeira em °C e a segunda em milímetros. Ambos, também, foram obtidos em World Bank (2020). A variável temperatura média em seu formato quadrático foi incluída, para verificar se uma temperatura crescente contribui para reduzir o nível de renda. Nessa perspectiva, deve revelar uma relação negativa com o PIB *per capita*, significando que o aumento nas temperaturas levará a declínios na atividade econômica (menos renda).

O segundo indicador climático é representado pelo índice (SPI) e foi utilizado para preservar a variabilidade espacial e temporal da precipitação, com base em desvios na precipitação mensal em relação a sua média de longo prazo, somada e ponderada pela contribuição média de cada mês para o volume total anual de precipitação. O índice é calculado à extensão dos 12 meses e seguiu Baarsch et al. (2020).

Esse índice permite descrever se um país está experimentando anormalmente com Secas (SPI  $\leq -1$ ) ou excesso de Chuvas (SPI  $\geq 1$ ) durante o período mensurado. Ademais, foi recomendado pela *World Meteorological Organization* (WMO), Organização Meteorológica Mundial, para a caracterização de secas meteorológicas (World Meteorological Organization, 2012). Mais detalhes sobre o SPI e seu uso em análises climáticas é encontrado em Seiler et al. (2002); e Baarsch et al. (2020).

O PIB *per capita* e todos os indicadores econômicos foram transformadas em logaritmo, exceto Abertura comercial, Governança e os indicadores climáticos, o que reduz o grau de assimetria de todas as variáveis consideradas, e tende-se a estabilizar sua variância amostral e a curtose da amostra.

### 3.2 Abordagem empírica

Esta pesquisa utilizou-se de regressão com dados em painel com os estimadores sendo obtidos por meio do MMG, desenvolvido nos trabalhos de Arellano & Bond (1991), Arellano & Bover (1995) e Blundell & Bond (1998).

O modelo supõe que a renda ou produto *per capita* corrente tende a se perpetuar ou influenciar o desempenho dela mesma no futuro. Utilizaram-se os 20 países da América latina.

Desse modo, a relação entre a renda e seus determinantes socioeconômicos e ambientais foi investigada, especificada no seguinte modelo dinâmico de regressão para dados em painel:

$$\begin{aligned} \ln Y_{it} = & \alpha_i + \alpha_t + \beta_1 \ln(Y_{it-1}) + \beta_2 \ln(Dívida_{it}) + \beta_3 \ln(Remessa_{it}) \\ & + \beta_4 \ln(Gastos_{it}) + \beta_5 \ln(Assistência_{it}) + \beta_6 Abertura_{it} + \beta_7 Governança_{it} \\ & + \beta_8 \ln(Preço do Óleo_{it}) + \beta_9 T_{it} + \beta_{10} T^2_{it} + \beta_{11} SPI_{it} + e_{it} \end{aligned} \quad (1)$$

em que:  $\ln(Y_{it})$  corresponde ao logaritmo do PIB *per capita* do país  $i$  no tempo  $t$ , como a variável dependente;  $Y_{it-1}$  a variável dependente defasada; *Dívida* é a dívida externa; *Remessa* representa a remessa recebida; *Gastos* denota os gastos do governo; *Assistência* denota a assistência internacional recebida; *Abertura* é a abertura comercial; *Governança* representa o nível de democracia; *Preço do Óleo* é o preço do barril de petróleo;  $T$  é a temperatura média;  $T^2$  é a forma quadrática da temperatura média; *SPI* são as anomalias de precipitação com as quais foram criadas duas variáveis *dummies* para períodos de seca (Seca) e períodos úmidos (Chuva).  $\alpha_i$  é o termo de efeito fixo que representa a heterogeneidade não observada invariante no tempo devido as diferenças geográficas e ambientais dos indivíduos,  $\alpha_t$  é o efeito fixo de tempo ou período que representa a heterogeneidade não observada gerada por políticas nacionais e/ou internacionais que podem impactar no nível de renda;  $e_{it}$  é o termo de erro; o subscrito  $i$  se refere ao país e o subscrito  $t$  ao período.

A Equação 1 foi baseada nos trabalhos de Brown et al. (2013) e Baarsch et al. (2020). A diferença para o trabalho de Brown et al. (2013) reside na utilização da temperatura ao quadrado e uso do SPI, e, em Baarsch et al. (2020), foi a utilização das temperaturas médias. E, para ambos, foi a estimação em painel dinâmico, diferentemente da estimação com efeitos fixos.

Conforme Ahn & Schmidt (1995), esse modelo possui as seguintes hipóteses:  $E[\alpha_t] = E[e_{it}] = E[\alpha_t e_{it}] = 0$  e  $E[e_{it} e_{is}] = 0$  para  $i = 1, 2, \dots, N$  e  $\forall t \neq s$ . Como também a hipótese padrão das condições iniciais:  $E[Y_{it-1} e_{it}] = 0$  para  $i = 1, 2, \dots, N$  e  $t = 1, 2, \dots, T$ .

Os trabalhos apresentados na literatura, em especial o de Arellano & Bond (1991), destacaram a ocorrência de dois problemas na estimação dos modelos especificados com regressão em dados em painel, a saber: *i*) em razão da presença dos efeitos não observáveis dos indivíduos,  $\alpha_{it}$ , juntamente com a variável dependente defasada,  $Y_{it-1}$ , no lado direito da Equação 2.1. Nesse caso, omitir os efeitos fixos individuais no modelo dinâmico em painel torna os estimadores de Mínimos Quadrados Ordinários (MQO) viesados e inconsistentes.

O estimador *WITHIN GROUPS*, entretanto, que corrige os efeitos fixos, gera uma estimativa de  $\beta_1$  viesada para baixo em painéis com a dimensão temporal pequena e, *ii*) em virtude da provável endogeneidade das variáveis explicativas. Nesse caso, a endogeneidade no lado direito da equação deve ser tratada para evitar um possível viés gerado por problema de simultaneidade.

Uma maneira de eliminar esses problemas está numa estimação pelo MMG-DIF. Tal método consiste na eliminação dos efeitos fixos por via da primeira diferença.

Conforme Arellano & Bover (1995) e Blundell & Bond (1998), os instrumentos são fracos quando as variáveis dependentes e explicativas denotam intensiva persistência ou a variância relativa dos efeitos fixos aumenta. Isso produz um estimador MMG-DIF não consistente e viesado para painéis com  $T$  pequeno.

Assim sendo, Arellano & Bover (1995) e Blundell & Bond (1998) propuseram um sistema que combina o conjunto de equações em diferença, com o conjunto de equações em nível, para reduzir esse problema de viés. Esse sistema é denominado Método dos Momentos Generalizado-sistema (MMG-sistema). Daí surge o método dos Momentos Generalizado-sistema (MMG-sistema). Para as equações em diferenças, o conjunto de instrumentos é o



mesmo descrito acima. Para regressão em nível, os instrumentos apropriados são as diferenças defasadas das respectivas variáveis.

As estimativas do MMG-sistema resultam da estimação com estimador corrigido pelo método de Windmeijer (2005) para evitar que o respectivo estimador das variâncias subestime as verdadeiras variâncias em amostra finita. O estimador utilizado foi proposto por Arellano & Bond (1991) em dois estágios. Na primeira etapa, supõe-se que os termos de erro são independentes e homocedásticos nos indivíduos e ao longo do tempo. No segundo estágio, os resíduos obtidos na primeira etapa são utilizados para construir uma estimativa consistente da matriz de variância-covariância, relaxando, assim, as hipóteses de independência e homocedasticidade.

Portanto, o objetivo da utilização do MMG neste trabalho foi, então, o de encontrar um estimador consistente com um mínimo de restrições sobre os momentos. Assim, o método de estimação desenvolvido por Arellano & Bover (1995) e Blundell & Bond (1998), denominado de MMG-DIF, foi escolhido, pois mostrou-se mais adequado para amostras pequenas, especialmente, quando a dimensão temporal é longa (29 anos) e as variáveis independentes são fortemente correlacionadas, o que é aplicável ao caso em estudo.

Ademais, foram testadas duas variações da especificação original (MMG-DIF), uma considerando a defasagem a um período da variável dependente com a variável climática SPI, e outra além dessa defasagem citada (Equação 1), a introdução de duas variáveis *dummies* especiais para efeitos das mudanças climáticas, substituindo o índice SPI pelas variáveis *dummies* Seca e Chuva sobre o PIB *per capita* dos países da América Latina. Assim, o modelo original foi denominado MMG-DIF 1 e o modelo com a segunda especificação de MMG-DIF 2, especificado a seguir na Equação 2:

$$\begin{aligned} \ln Y_{it} = & \alpha_i + \alpha_t + \beta_1 \ln(Y_{it-1}) + \beta_2 \ln \text{Dívida}_{it} + \beta_3 \ln \text{Remessa}_{it} + \\ & \beta_4 \ln \text{Gastos}_{it} + \beta_5 \ln \text{Assistência}_{it} + \beta_6 \text{Abertura}_{it} + \beta_7 \text{Governança}_{it} + \\ & \beta_8 \ln \text{Preço do Óleo}_{it} + \beta_9 T_{it} + \beta_{10} T^2_{it} + \beta_{11} \text{Seca}_{it} + \beta_{12} \text{Chuva}_{it} + \varepsilon_{it} \end{aligned} \quad (2)$$

em que: Seca (condição extrema de baixo volume na precipitação) e Chuva (volumes extremos de precipitação) são variáveis *dummies* para as anomalias de precipitação derivadas do SPI.

Vale observar que a disposição dos dados na forma de um painel dinâmico, como definido, permitirá também verificar duas outras hipóteses subjacentes à evolução do efeito das mudanças climáticas sobre o nível de renda no tempo, quais sejam, seu efeito defasado (persistência temporal), nesse caso, com base no modelo dinâmico MMG-DIF, e, ainda, a possibilidade de se testar a regularidade empírica dos efeitos: Excesso de precipitação (medido pela *dummy* Chuva) e a condição de escassez de chuvas (*dummy* Seca).

Por fim, como um meio para testar a robustez e a consistência do modelo, Arellano & Bond (1991) sugerem dois tipos de testes. O teste de Sargan é utilizado com o objetivo de verificar a validade dos instrumentos. A falha em rejeitar a hipótese nula indicará que os instrumentos são robustos. Além disso, como se supõe, inicialmente, que o erro  $\varepsilon_{it}$  não seja autocorrelacionado, é feito um teste de correlação serial de primeira ordem e outro de segunda ordem sobre os resíduos em primeira diferença,  $\Delta \varepsilon_{it}$ . Espera-se que esses erros sejam correlacionados em primeira ordem e não autocorrelacionados em segunda ordem. Assim, foram realizados os testes para autocorrelação AR (1) e AR (2) para investigar se o termo de erro exhibe evidência de correlação serial e o Sargan.

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Essa seção discute os resultados da pesquisa. As estatísticas descritivas, as estimativas e suas implicações relacionadas à literatura empírica foram realizadas para tentar identificar

se existem evidências de alterações climáticas afetarem o nível de atividade econômica das nações latino-americanas.

A Tabela 1 fornece os dados para a média, desvio-padrão, valores mínimo e máximo ao longo do tempo das variáveis estudadas para os países latinoamericanos. Quanto ao PIB *per capita*, o valor médio registrado foi de US\$ 4.783 mil dólares. Haiti indicou o menor valor, em 1994, de US\$ 2.418 mil dólares. Por outro lado, Panamá registrou o maior valor dessa variável - US\$ 18.704 mil dólares - para o ano de 2016.

**Tabela 1** – Estatística descritiva das variáveis, América Latina, 1990-2019.

Variáveis	Observações	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
PIB <i>per capita</i>	600	4.783,51	3.945,09	2.418,76	18.703,86
Dívida	480	5,96e+10	1,03e+11	7,58e+08	5,69e+11
Remessas	570	2,12e+09	4,62e+09	6.038,03	3,90e+10
Gastos	600	2,61e+10	6,43e+10	1,93e+08	4,88e+11
Assistência	600	26,4111	34,3783	-49,5371	290,456
Abertura	600	62,0466	31,0009	12,6387	175,4736
Governança	600	6,5283	4,0988	-7	10
Preço do óleo	600	47,7837	28,1783	14,42	99,67
T	600	22,4086	4,3253	7,9083	26,6118
T <sup>2</sup>	600	520,821	160,4046	62,5406	708,1888
SPI	600	-0,0026	0,9991	-3,7637	2,6353

**Fonte:** Elaborada pelos autores, com base nos dados citados na seção 3.1 (2022).

No que tange aos dados referentes à dívida externa, tem-se que o valor médio registrado foi de US\$ 59 bilhões de dólares. O menor valor dessa série foi US\$ 758 milhões de dólares, no Haiti, em 2011, enquanto o maior valor pertence ao Brasil (US\$ 569 bilhões de dólares), no ano de 2019.

Em relação às remessas, o valor médio observado foi de US\$ 2, 12 bilhões de dólares, e o Uruguai exibiu o menor valor, de US\$ 6 milhões de dólares, em 2001. Em sentido oposto, com maior valor, foi no México, no ano de 2019, com US\$ 39 bilhões de dólares.

Para os gastos do governo, o valor médio foi de US\$ 26 bilhões de dólares. A República Dominicana indicou o menor valor, em 1991, de US\$ 193 milhões de dólares. Por outro lado, o Brasil registrou o maior valor dessa variável (US\$ 488 bilhões de dólares) para o ano de 2011.

No que tange à assistência oficial, tem-se que o valor médio registrado foi de US\$ 26 milhões de dólares. O menor valor dessa série foi o desembolso de US\$ 49 milhões de dólares, realizado pelo Panamá, em 2014, enquanto o maior pertence ao Haiti, de US\$ 290 milhões de dólares, recebidos no ano de 2010.

Em relação à abertura comercial, o valor médio observado foi de aproximadamente 62%; quanto maior essa taxa, maior é a participação do país no comércio internacional. Em um sentido mais fechado, a Argentina exibiu a menor taxa, de aproximadamente 13%, em 1991. Em sentido oposto, com maior taxa, foi o Panamá, no ano de 1995, de 175%.

Para o índice de governança, o valor médio foi de 6,5, significando expressar que, intervalo de 6 a 9, o país encontra-se em democracia. Cuba indicou o menor valor (-7) durante todo o período de análise, classificando-se em uma autocracia. Por outro lado, o Uruguai registrou o maior valor (10) dessa variável (correspondendo a democracia plena) durante todo o período de análise.

No que tange ao preço do óleo, tem-se que o valor médio registrado foi de US\$ 47,78 dólares. O menor valor dessa série foi de US\$ 14,42 dólares, em 1998, enquanto o maior valor foi de US\$ 99,67 dólares, no ano de 2008.

Em relação às temperaturas, o valor médio observado foi de aproximadamente -22°C. O Peru indicou o menor valor (7,90), no ano de 1996. Por outro lado, no Paraguai, registrou-se o maior valor (26,61) dessa variável, no ano de 2014. Já a variável temperatura ao quadrado exorimiu média de 520,41, com valores mínimos e máximos iguais a 62,54 e 708,18, respectivamente.

Por fim, o índice SPI apresentou valor médio de aproximadamente - 0,0026, significando que no intervalo de -1 a 1, o país encontra-se em condições normais de precipitação. Em um sentido extremo de secas, o Peru expressou o menor valor, de -3,76. Em sentido oposto de excesso de precipitação, com maior valor, de 2,63, ocorreu na Colômbia, em 2012.

A Tabela 2 mostra os resultados dos modelos MQO, *WITHIN GROUPS* e MMG-DIF, estimados com base na Equação 1. A significância estatística é indicada com asterisco. Ademais, descreve os efeitos do SPI, temperatura média e a mesma, ao quadrado, como indicadores das mudanças climáticas, e variáveis econômicas sobre o PIB *per capita* para os países da América Latina.

**Tabela 2** – Resultados das regressões em painel dinâmico para PIB *per capita* como variável dependente, utilizando indicadores econômicos e climáticos (temperaturas e índice SPI) como variáveis explicativas para a América Latina de 1990 a 2019.

	Variável Dependente: PIB <i>per capita</i> (lnY)		MMG-DIF1 (c)
	MQO (a)	<i>WITHIN GROUPS</i> (b)	
<b>Ln <math>Y_{it-1}</math></b>	0,9244*** (0,0139)	0,6432*** (0,0454)	0,7771*** (0,0828)
<b>LnDívida</b>	0,0061 (0,0194)	-0,0202 (0,0291)	0,0657** (0,0308)
<b>LnRemessas</b>	-0,0107** (0,0048)	-0,0021 (0,0144)	0,0517** (0,0244)
<b>LnGastos</b>	0,0069 (0,0192)	0,1789*** (0,0529)	-0,0553 (0,0674)
<b>LnAssistência</b>	-0,0175 (0,0069)	0,0245 (0,0142)	0,0764*** (0,0254)
<b>LnAbertura</b>	0,0003 (0,0002)	-0,0008 (0,0006)	0,0015 (0,0016)
<b>LnGovernança</b>	0,0060** (0,0027)	0,0014 (0,0056)	0,0090*** (0,0034)
<b>LnPreço do óleo</b>	0,0763*** (0,0126)	0,0872*** (0,0193)	0,0562 (0,0351)
<b>T</b>	0,0492 (0,0409)	0,0926 (0,1734)	0,0638 (0,3398)
<b>T<sup>2</sup></b>	-0,0011 (0,0009)	-0,0022 (0,0039)	-0,0152** (0,0075)
<b>SPI</b>	-0,0054 (0,0070)	-0,0080*** (0,0039)	-0,0449*** (0,01489)
<b>Constante</b>	-0,2054 (0,4480)	-1,8811 (2,1083)	-6,6058* (3,7675)
	F(11,445)=2014,65	F(11,15)=910,52	
	Prob>F=0,0000	Prob>F=0,0000	
	R <sup>2</sup> =0,9816	R <sup>2</sup> =0,9570	
<b>Observações</b>	457	457	457
<b>Número de grupos</b>		16	16
<b>Instrumentos</b>			47
<b>Teste de Sargan</b>			[0,7114]
<b>Teste de Hansen</b>			[0,9963]
<b>Teste AR (1)</b>			[0,0028]
<b>Teste AR (2)</b>			[0,2163]

**Fonte:** Elaborada pelos autores, com base nos dados citados na seção 3.1 (2022). Nota: \*\*\* significativa ao nível de 1% \*\* significativa ao nível de 5% \*significante ao nível de 10%. Erro padrão robusto entre parênteses. P-valor entre colchetes. Os países Chile, Cuba, Panamá e Uruguai foram retirados da estimação em virtude da ausência de informações disponíveis.

Na coluna (a), o modelo foi estimado por MQO, obtido para um total de 457 observações, englobando os países da América Latina. Os coeficientes significantes foram o PIB *per capita* defasado, remessas, governança e preço do óleo; contudo, esses estimadores são viesados e inconsistentes, como já discutido. De fato, observou-se que o coeficiente foi maior do que o valor estimado na coluna (b) para a variável defasada por *WITHIN GROUPS*.

A maneira de analisar o desempenho dos estimadores MMG-DIF baseia-se na comparação das estimativas para o coeficiente da variável defasada,  $y_{it-1}$ , obtidas por meio desse método, e aquelas encontradas por métodos alternativos cujas propriedades são conhecidas em modelos de painel dinâmico. Como discutido na metodologia, as estimativas de MQO e *WITHIN GROUPS* são viesadas para cima e para baixo, respectivamente, fornecendo, aproximadamente, limite superior e inferior para o coeficiente  $\beta_1$ . O valor encontrado por MMG-DIF1 para essa variável na coluna (c) na Tabela 2 indica que essa condição foi atendida. Isso implica que o viés causado pelas variáveis endógenas no lado direito da regressão e efeitos fixos não observáveis foi corrigido.

Na coluna (c), no modelo MMG-DIF1 estimado, tem-se que todos os coeficientes das variáveis explicativas foram estatisticamente significativos, exceto gasto do governo, preço do óleo, abertura comercial e temperatura. De modo geral, com algumas exceções, em grande parte, os coeficientes são estatisticamente significantes a 1%.

O primeiro resultado diz respeito ao coeficiente da variável dependente defasada (PIB *per capita* no ano anterior), que foi significativa e positivo. Apresentou-se elevada elasticidade confirmando a importância da renda ou do produto da economia no tempo.

Em relação às variáveis socioeconômicas que influenciam a renda *per capita*, a dívida externa afeta positivamente. Assim, um aumento de 1% na dívida aumenta em aproximadamente 0,78% o PIB *per capita*. Observou-se que, no ano em que os países contraem financiamento, elevando assim suas dívidas, aumenta o PIB *per capita* pela utilização desses recursos, contudo, é possível que o serviço do pagamento da dívida contribua para que o efeito do volume transferido afete negativamente o PIB *per capita*. O efeito da dívida externa é consistente com a literatura econômica (Clements et al., 2003; Pattillo & Ricci, 2011; Baarsch et al., 2020).

Os outros fatores socioeconômicos considerados - remessas, assistência recebida e governança - também, denotaram efeitos positivos, como potenciais motores de crescimento econômico no modelo de regressão.

Em relação às remessas, uma elevação de 1% faz crescer o PIB *per capita* em aproximadamente 0,05%. Na literatura, os efeitos desta variável não são uniformes. Há casos em que o efeito é positivo e outros em que são negativos. No caso da América Latina, os não residentes em seus países de origem transferem parte de sua renda para seus membros familiares que residem (Catrinescu et al., 2009; Clemens & McKenzie, 2014).

Para o indicador assistência, seus efeitos positivos foram esperados em razão de a assistência oficial - empréstimos tomados, ou ajuda internacional - afetar a atividade econômica. Nesse sentido, com um aumento de 1% na assistência, eleva-se o PIB *per capita* em 0,08%. Na literatura, seu impacto varia, dependendo do nível de desenvolvimento de cada país assistido, e diversos trabalhos apontam sua importância no crescimento econômico, principalmente em Estados em desenvolvimento (Chung, 2016; Hwang et al., 2016; Kang & Kim, 2019).

O indicador governança denotou efeito positivo. Assim, o aumento de uma unidade desta variável eleva a renda *per capita* em 0,009%. Por fim, essa relação positiva também foi vista em Kaufmann & Kraay (2002) e Emara & Jhonsa (2014).

Para os indicadores climáticos, a variável de temperatura média ao quadrado foi negativamente relacionada ao PIB *per capita*, estando de acordo com a literatura que investigou os efeitos das mudanças de temperaturas nos indicadores macroeconômicos, (Burke et al., 2015; Du et al., 2017; Baarsch et al., 2020). Assim, supondo-se um aumento de uma unidade desta variável, reduz a renda *per capita* em aproximadamente 0,02%.

Um resultado relevante observado foi o impacto negativo das precipitações no PIB *per capita*, isto é, o índice SPI. Assim, uma elevação de uma unidade no SPI reduz em 0,05% a renda *per capita*. Este resultado destaca as consequências econômicas da destruição do capital e reconstrução, como apontado em Hallegatte & Przulski (2010).

Esta análise dos efeitos da mudança do clima na atividade econômica beneficia a discussão do atual conflito na literatura sobre a importância das variáveis climáticas que afetam o crescimento do PIB. Os resultados encontrados corroboram Brown et al. (2013) e Baarsch et al. (2020), apoiando-se fortemente na hipótese de que as anomalias na precipitação constituem os principais efeitos climáticos no crescimento do PIB, sobrepondo-se aos efeitos de temperatura. Isso implica a importância da segurança hídrica, isto é, a proteção contra esses efeitos negativos, torna-se um caminho para gerar crescimento econômico.

Observou-se, também, que as mudanças climáticas futuras vão fazer com que a segurança hídrica seja uma condição necessária para o crescimento da economia. As projeções dos impactos das mudanças climáticas no crescimento do PIB, geralmente, usam a temperatura como variável climática mais importante; no entanto, esta análise sugere que as mudanças na precipitação são mais significativas.

Por fim, os resultados dos testes de restrição de sobreidentificação, Teste de Sargan (com  $Prob > 0,7114$ ) e Teste de Hansen (com  $Prob > 0,9963$ ), do modelo MMG-DIF 1, asseguram a escolha dessa especificação. De igual maneira, em relação aos testes de autocorrelação de primeira e segunda ordem, de Arellano & Bond (1991), que confirmam a rejeição da autocorrelação de primeira ordem ( $Prob > z = 0,0028$ ), mas não se rejeita a autocorrelação de segunda ordem ( $Prob > z = 0,2163$ ), denota-se que as estimativas são consistentes.

A Tabela 3 mostra os resultados dos modelos (MQO, *WITHIN GROUPS* e MMG-DIF2) estimados com base na Equação 2, com a significância estatística indicada com asterisco. Ademais, descrevem-se os efeitos das *dummies* Seca e Chuva, temperatura média e a mesma, ao quadrado, como indicadores das mudanças climáticas, e variáveis econômicas sobre o PIB *per capita* para os países da América Latina.

Os resultados das estimativas dos dois modelos MMG-DIF foram semelhantes quanto aos principais indicadores que afetam a renda *per capita*. Na coluna [a], o modelo foi estimado por MQO. Na coluna [b], apresentou-se a estimação do modelo *WITHIN GROUPS*.

E, por fim, na coluna [c], o modelo MMG-DIF2 estimado, tem-se que todos os coeficientes das variáveis explicativas foram estatisticamente significativas, exceto gasto do governo, abertura comercial e temperatura. De modo geral, com algumas exceções, grande parte dos coeficientes é estatisticamente significativa a 1%.

O primeiro resultado diz respeito aos coeficientes da variável dependente defasada (PIB *per capita* no ano anterior), que foram significantes e positivos nas duas especificações do modelo MMG-DIF.

Os outros fatores socioeconômicos considerados - dívida externa, remessas, assistência recebida, governança e preços do óleo em geral - exprimiram efeitos positivos, como potenciais motores de crescimento econômico no modelo de regressão.

Em relação à dívida externa, também foi observado o impacto positivo no modelo MMG-DIF 2, um aumento de 1% na dívida aumenta em aproximadamente 0,08% o PIB *per capita*. Em relação às remessas, uma elevação de 1% faz crescer o PIB *per capita* em aproximadamente 0,04%.

**Tabela 3** – Resultados das regressões em painel dinâmico para PIB *per capita* como variável dependente, utilizando indicadores econômicos e climáticos (temperaturas e *dummies* Seca e Chuva) como variáveis explicativas para a América Latina de 1990 a 2019.

	Variável Dependente: PIB <i>per capita</i> (lnY)		MMG-DIF2 [c]
	MQO[a]	WITHIN GROUPS [b]	
Ln $y_{it-1}$	0,9245*** (0,0137)	0,6411*** (0,0449)	0,7608*** (0,0963)
LnDívida	0,0065 (0,0197)	-0,0183 (0,0304)	0,0777** (0,0371)
LnRemessas	-0,0109** (0,0048)	-0,0023 (0,0146)	0,0360* (0,0189)
LnGastos	0,0063 (0,0193)	0,1799*** (0,0531)	0,0022 (0,0665)
LnAssistência	-0,0176 (0,0069)	0,0240 (0,0146)	0,0597*** (0,0201)
LnAbertura	-0,0003 (0,0002)	-0,0008 (0,0006)	0,0010 (0,0013)
LnGovernança	0,0059** (0,0027)	0,0014 (0,0057)	0,0101** (0,0045)
LnPreço do óleo	0,0762*** (0,0127)	0,0870*** (0,0199)	0,0495* (0,0299)
T	0,0494 (0,0402)	0,0952 (0,1793)	0,0662 (0,2063)
T <sup>2</sup>	-0,0011 (0,0009)	-0,0023 (0,0041)	-0,0160*** (0,0046)
Seca	0,0083 (0,0179)	0,0158 (0,0169)	0,0989* (0,0541)
Chuva	-0,0004 (0,0181)	-0,0065 (0,0150)	-0,0560** (0,0284)
Constante	-0,2081 (0,4430)	-1,9550 (2,1997)	-7,7699** (2,4807)
	F(12,444)=1880,16 Prob>F=0,0000 R <sup>2</sup> =0,9815	F(12,15)=899,12 Prob>F=0,0000 R <sup>2</sup> =0,9569	
Observações	457	457	457
Número de grupos		16	16
Instrumentos			64
Teste de Sargan			[0,6560]
Teste de Hansen			[0,9993]
Teste AR (1)			[0,0041]
Teste AR (2)			[0,2684]

**Fonte:** Elaborada pelos autores, com base nos dados citados na seção 3.1 (2022). Nota: \*\*\* significante ao nível de 1% \*\* significante ao nível de 5% \*significante ao nível de 10%. Erro padrão robusto entre parênteses. P-valor entre colchetes. Os países Chile, Cuba, Panamá e Uruguai foram retirados da estimação em virtude da ausência de informações disponíveis.

Para o indicador assistência, seus efeitos positivos foram esperados. Nesse sentido, com um aumento de 1% na assistência eleva o PIB *per capita* em aproximadamente 0,06%. O indicador governança apresentou efeito positivo. Assim, o aumento de uma unidade desta variável eleva a renda *per capita* em 0,01%.

O último indicador econômico, o preço do óleo, tem uma relação inversa com o PIB *per capita*. Assim, se seu preço aumentar, acarretará redução na atividade econômica (Jiménez-Rodríguez & Sánchez, 2004; Nyangarika et al., 2018). Nesse sentido, com uma redução de 1% no preço do óleo eleva o PIB *per capita* em aproximadamente 0,05%.

Para os indicadores climáticos, as médias de temperaturas ao quadrado exibiram efeito negativo. Assim, o aumento de uma unidade desta variável reduz a renda *per capita* em aproximadamente 0,02%.

Um resultado relevante observado foi o impacto negativo das precipitações no PIB *per capita*, isto é, a *dummy* de Chuva. Os coeficientes da variável Chuva, anormalidade no grande volume de precipitação ou inundações, foi signficante, expressando sinal negativo. Já os coeficientes

da variável Seca, indicando a condição de seca, pouca precipitação, foi significativa com sinal positivo.

Infere-se que um aumento de uma unidade em Chuva reduz em aproximadamente 0,06% o PIB *per capita*. Já a elevação de uma unidade na variável Seca aumenta o PIB *per capita* em 0,1%. Um resultado importante foi que Chuva apresentou efeitos negativos, prejudicando o capital e sua recuperação ao longo dos anos, resultado similar encontrado em Brown et al. (2013) e Baarsch et al. (2020).

A *dummy* Seca, indicativa de escassez de precipitação, exprimi efeitos positivos sobre a renda *per capita*, diferentemente de outros trabalhos que estudaram ao nível mundial ou no Continente Africano. A justificativa para esse resultado é atribuível, por exemplo, na pesquisa agropecuária brasileira que desenvolve tecnologias mais adaptadas a estas situações. Também tem efeitos atenuantes por meio de programas de transferências de renda que contemplam prioritariamente as regiões mais vulneráveis diminuindo a participação da renda proveniente da agropecuária desta parcela da população. Assim, observou-se melhor adaptação às mudanças climáticas com a adoção de políticas contra as secas, como, por exemplo, no Brasil, a adoção de políticas de convivência com o semiárido nordestino. Nesse sentido, esta ocorrência contemporânea de perdas induzidas por desastres climáticos é uma consequência de um “déficit de adaptação” detalhado em Fankhauser & McDermott (2014) e Bhave et al. (2016).

Com efeito, observou-se que os resultados negativos da inundação, Chuva, foram impactantes, diferentemente das Secas. Acredita-se nesse fato, em razão da sua capacidade destrutiva. Enquanto uma seca reduz a poupança e o investimento, uma enchente destrói a poupança e o capital, danifica infraestruturas, por exemplo, estradas, e contribui para doenças. Assim, impactos da variável Chuva têm efeitos de curto e longo prazos mais agravantes nas atividades econômicas do que uma Seca (Brown et al., 2013).

Esta análise com a utilização das *dummies* climáticas, corrobora Brown et al. (2013), pois, mesmo que as estimativas de seca e excesso de chuvas permaneçam problemáticas, ficou claro, com suporte nos os resultados encontrados, que os níveis históricos de variabilidade da precipitação já impactam o progresso econômico. Nesse sentido, gerenciar esse risco, da variabilidade pluviométrica, implicará em que a segurança hídrica ajuda o crescimento econômico sob as condições climáticas atuais, como também, espera-se que o faça no futuro.

Em relação à América Latina, caracterizada por nações em desenvolvimento, o investimento em infraestrutura hídrica se torna necessário. O desafio é determinar como utilizar seus recursos para alcançar a segurança hídrica no presente e no futuro. Além disso, existe uma lacuna com os níveis de infraestrutura, ao se comparar às nações desenvolvidas. A perspectiva atual das mudanças climáticas levanta preocupações sobre a infraestrutura, pois as nações mais ricas sentem que o investimento em infraestrutura é arriscado, porém, o maior risco, no entanto, está em enfrentar essas mudanças climáticas sem investir. Além disso, existem componentes importantes que auxiliam a segurança hídrica, como, por exemplo, instituições fortes que administram bacias com escassez de água, e políticas que facilitam a alocação da água. Existe, também, o monitoramento hidrológico que fornece previsão para antecipar e ajudar a mitigar os extremos climáticos.

A variação do modelo original (MMG-DIF 2) seguiu os mesmos procedimentos metodológicos do primeiro modelo, e os resultados dos testes de especificação (Sargan, Hansen e de autocorrelação), expressos na Tabela 3, atestam, também, a pertinência de sua utilização. Além disso, como se trata de um painel com dimensão temporal mais longa, os dois modelos MMG-DIF foram estimados em um estágio (*one step*), para tornar as estimativas mais consistentes, e, ao mesmo tempo, utilizou-se de erros-padrão robustos e procedeu-se à opção de colapsar os instrumentos.

## 5 CONCLUSÕES

As condições climáticas atualmente experimentadas alertam para impactos socioeconômicos e ambientais sem precedentes. As projeções realizadas apontaram para o aumento da pobreza, queda na renda monetária, aumento dos preços agrícolas e das desigualdades sociais, a expansão de áreas de sequeiro e mais períodos de seca extrema, impactos negativos no abastecimento de água, na pecuária e na produção da indústria e agricultura, pressão no uso da terra e dos recursos naturais, entre outros males, isto na contextura mundial.

A América Latina insere-se nesse contexto, ainda mais fragilizada, se comparada aos países desenvolvidos frente a essas projeções. Essas evidências mostraram que as mudanças climáticas afetarão não apenas o nível de renda, mas todos os sistemas ambientais e humanos, levantando a questão de que a adaptação a essas alterações é necessária para o desenvolvimento econômico.

A análise realizada teve o objetivo de identificar as influências das mudanças climáticas, fundamentalmente, temperatura e precipitação, na renda *per capita* dos países latino-americanos. Com base em pesquisas anteriores e na literatura publicada, temperatura, anomalias de precipitação (secas e inundações) e indicadores econômicos foram consideradas variáveis explicativas. Com dados em painel, utilizou-se o modelo de regressão dinâmica para cada um dos vinte países da América Latina, e os modelos demandaram privilegiar os efeitos das variáveis de controle e os impactos das variáveis climáticas no PIB *per capita* desses países. Resultados relevantes e inovadores foram obtidos.

O resultado mais importante desta análise foi a identificação do excesso de precipitação (Chuva), Seca e da temperatura como os fatores climáticos que apresentaram efeitos significantes na renda *per capita* dos países. A importância destes resultados se dá por várias razões. Em primeiro lugar, eles contradizem os estudos anteriores que identificaram a temperatura como a variável climática mais influente no crescimento da atividade econômica, como, por exemplo, o estudo de Dell et al. (2009), em que avaliaram os efeitos de variações anuais na precipitação e temperaturas nos últimos 50 anos como forma de estimar potenciais impactos econômicos das mudanças climáticas. Usando dados econômicos e climáticos de países em uma avaliação global, seus resultados indicaram que temperaturas mais altas tiveram consequências negativas nos países pobres, enquanto não houve efeitos climáticos nos países ricos, e, por fim, não foram encontrados efeitos significativos causados pelas variações de precipitação.

Alguns estudos da literatura, *in hoc sensu*, como o citado anteriormente, usaram uma medida não apropriada para precipitação que obscurece ou subestima seus efeitos, no exemplo já mencionado, a utilização da média. Portanto, utilizou-se aqui o índice SPI, porque existe a preservação da variabilidade espacial, a não linearidade, assimetria dos efeitos da precipitação, e capta melhor seus impactos sobre a atividade econômica. Os resultados dos efeitos desta variável climática são consistentes com os estudos de Brown et al. (2010) e Brown et al. (2013).

Em segundo lugar, a ideia mais comum sobre as mudanças climáticas é a suposição de que a temperatura é a chave do impacto climático nas atividades econômicas. As estimativas dos efeitos da temperatura são normalmente usadas em projeções estáticas dos impactos econômicos das mudanças climáticas. Esta pesquisa contribui, ao apontar a fragilidade destas projeções. A variabilidade da precipitação tem influência mais forte no PIB *per capita*, relativamente à temperatura. Esse resultado leva à necessidade de contemplar, na avaliação das mudanças climáticas, outra visão, enfatizando as projeções de mudanças no volume de chuvas e, mais notadamente, nas anomalias com excesso de chuvas e não somente na elevação da temperatura.

Finalmente, os resultados encontrados neste trabalho sugerem a importância da estratégia de adaptação às mudanças climáticas. As evidências indicaram que as economias nacionais



são impedidas por períodos de muita precipitação. Assim, as estratégias de adaptação das mudanças climáticas precisam incorporar ações para minimizar os efeitos das elevações do volume de chuvas e não somente do aumento da temperatura.

Assim, os efeitos associados às inundações terão impactos na infraestrutura, cuja recuperação dos danos leva alguns anos, fazendo com que o efeito negativo na renda *per capita* seja estendido para vários anos; no entanto, a adoção de um índice de inundação é uma sugestão para trabalhos futuros, para explorar este efeito com maior confiança.

Por fim, a não observada endogeneidade e causalidade reversa podem ser reveladas como a principal limitação desse estudo. Outras dificuldades encontram-se no painel desbalanceado da amostra e métodos econométricos adotados, devido à disponibilidade de dados.

No geral, os impactos dos controles deram-se como esperado e consistentemente com a literatura. Por fim, recomendam-se como pontos importantes para trabalhos futuros a utilização de outras variáveis *proxy* para a precipitação, tais como o WASP, ou alternativamente ao modelo de dados em painel dinâmico em diferença utilizado aqui, o emprego do modelo de painel dinâmico-sistema.

## REFERÊNCIAS

- Ahn, S. C., & Schmidt, P. (1995). Efficient estimation of models for dynamic panel data. *Journal of Econometrics*, 68, 5-28.
- Arellano, M., & Bond, S. (1991). Some tests of specification for panel data: Monte Carlo evidence and an application to employment equations. *The Review of Economic Studies*, 58(2), 277-297.
- Arellano, M., & Bover, O. (1995). Another look at the instrumental-variable estimation of error components model. *Journal of Econometrics*, 68, 29-52.
- Baarsch, F., Granadillos, J. R., Hare, W., Knaus, M., Krapp, M., Schaeffer, M., & Lotze-Campen, H. (2020). The impact of climate change on incomes and convergence in Africa. *World Development*, 126, 1-12.
- Barrios, S., Ouattara, B., & Strobl, E. (2008). The impact of climatic change on agricultural production: is it different for Africa? *Food Policy*, 33, 287-298.
- Bhave, A. G., Conway, D., Dessai, S., & Stainforth, D. A. (2016). Barriers and opportunities for robust decision making approaches to support climate change adaptation in the developing world. *Climate Risk Management*, 14, 1-10.
- Blundell, R., & Bond, S. (1998). Initial conditions and moment restrictions in dynamic panel data models. *Journal of Econometrics*, 87, 115-143.
- Brown, C., & Lall, U. (2006). Water and development: the role of variability and a framework for resilience. *Natural Resources Forum*, 30, 306-317.
- Brown, C., Meeks, R., Ghile, Y., & Hunu, K. (2013). Is water security necessary? An empirical analysis of the effects of climate hazards on national-level economic growth. *Philosophical Transactions of the Royal Society*, 371, 1-19.
- Brown, C., Meeks, R., Hunu, K., & Yu, W. (2010). Hydroclimatic risk to economic growth in Sub-Saharan Africa. *Climatic Change*, 106, 621-647.
- Burke, M., Hsiang, S. M., & Miguel, E. (2015). Global non-linear effect of temperature on economic production. *Nature*, 1, 1-16.
- Catrinescu, N., Leon-Ledesma, M., Piracha, M., & Quillin, B. (2009). Remittances, institutions, and economic growth. *World Development*, 37(1), 81-92.

- Christiaensen, L., Demery, L., & Paternostro, S. (2002). *Growth, distribution, and poverty in Africa: messages from the 1990s*. Recuperado em 16 de março de 2023, de <http://documents.worldbank.org/curated/en/113551468741591138/Growth-distribution-and-poverty-in-Africa-messages-from-the-1990s>
- Chung, T. Y. (2016). Effectiveness of Korean official development assistance. *International Business Review*, 20(4), 211-229.
- Clemens, M. A., & McKenzie, D. (2014). *Why don't remittances appear to affect growth?* Recuperado em 16 de março de 2023, de <http://www.cgdev.org/publication/why-dont-remittances-appear-affect-growth-working-paper-366>
- Clements, B., Bhattacharya, R., & Nguyen, T. Q. (2003). *External debt, public investment, and growth in low-income countries*. Recuperado em 16 de março de 2023, de <https://www.imf.org/en/Publications/WP/Issues/2016/12/30/External-Debt-Public-Investment-and-Growth-in-Low-Income-Countries-17074>
- Crichton, D. (1999). The risk triangle. In Ingleton, J. (Ed.), *Natural disaster management* (pp. 102-103). Londres: Tudor Rose.
- Dell, M., Jones, B. F., & Olken, B. A. (2009). Temperature and income: reconciling new cross-sectional and panel estimates. *The American Economic Review*, 99(2), 198-204.
- Du, D., Zhao, X., & Huang, R. (2017). The impact of climate change on developed economies. *Economics Letters*, 153, 43-46.
- Emara, N., & Jhonsa, E. (2014). Governance and economic growth: interpretation for MENA countries. *Topics in Middle Eastern and African Economies*, 16(2), 164-183.
- Fankhauser, S., & McDermott, T. K. J. (2014). Understanding the adaptation deficit: why are poor countries more vulnerable to climate events than rich countries? *Global Environmental Change*, 27, 9-18.
- Hallegatte, S., & Przulski, V. (2010). The economics of natural disasters: concepts and methods. *Policy Research Working Paper*, 5507, 1-31. Recuperado em 16 de março de 2023, de <https://elibrary.worldbank.org/doi/abs/10.1596/1813-9450-5507>
- Hallegatte, S., Bangalore, M., Bonzanigo, L., Fay, M., Kane, T., Narloch, U., & Vogt-Schilb, A. (2015). *Shock waves: managing the impacts of climate change on poverty*. Recuperado em 16 de março de 2023, de <https://www.worldbank.org/en/topic/climatechange/brief/shock-waves-managing-the-impacts-of-climate-change-on-poverty-background-papers>
- Hwang, J. H., Park, H. N., Lee, S. W., & Lim, H. B. (2016). An empirical study on the aid effectiveness of official development assistance and its implications to Korea. *Journal of the Korean Regional Development Association*, 28(5), 177-198.
- Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC. (2012). Recuperado em 16 de março de 2023, de <https://www.ipcc.ch/report/managing-the-risks-of-extreme-events-and-disasters-to-advance-climate-change-adaptation/>
- Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC. (2014). Recuperado em 16 de março de 2023, de <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg2/>
- Jiménez-Rodríguez, R., & Sánchez, M. (2004). *Oil price shocks and real GDP growth: empirical evidence for some OECD countries*. Recuperado em 16 de março de 2023, de <https://econpapers.repec.org/paper/ecbecbwps/2004362.htm>
- Kang, H. J., & Kim, K. K. (2019). The impact of S&T ODA on economic growth of the recipient countries. *Science and Technology Policy Management*, 2(1), 31-57.

- Kaufmann, D., & Kraay, A. (2002). *Growth without governance*. Recuperado em 16 de março de 2023, de <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/19206>
- Kjellstrom, T., Kovats, R. S., Lloyd, S. J., Holt, T., Tol, R. S. J., Kovats, S., & Tol, R. S. J. (2009). The direct impact of climate change on regional labor productivity. *Archives of Environmental & Occupational Health*, 64(4), 217-227.
- Marshall, M. G., Gurr, T. R., & Jaggers, K. (2019). Recuperado em 16 de março de 2023, de <https://www.systemicpeace.org/polityproject.html>
- Nangombe, S., Zhou, T., Zhang, W., Wu, B., Hu, S., Zou, L., & Li, D. (2018). Recordbreaking climate extremes in Africa under stabilized 1.5 °C and 2 °C global warming scenarios. *Nature Climate Change*, 8(5), 375-380.
- Nordhaus, W. D. (2011). *Estimates of the social cost of carbon: background and results from the rice-2011 model*. Recuperado em 16 de março de 2023, de [https://www.nber.org/system/files/working\\_papers/w17540/w17540.pdf](https://www.nber.org/system/files/working_papers/w17540/w17540.pdf)
- Nyangarika, A. M., Mikhaylov, A. Y., & Tang, B. J. (2018). Correlation of oil prices and gross domestic product in oil producing countries. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 8(5), 42-48.
- Pattillo, C., & Ricci, L. A. (2011). External debt and growth. *Revista de Economia Institucional*, 2(30), 5-15.
- Rodriguez-Oreggia, E., Fuente, A., Torre, R., & Moreno, H. A. Natural disasters, human development and poverty at the municipal level in Mexico. (2013). *The Journal of Development Studies*, 49, 442-55.
- Rodrik, D., Subramanian, A., & Trebbi, F. (2004). Institutions rule: the primacy of institutions over geography and integration in economic development. *Journal of Economic Growth*, 9, 131-165.
- Rosenzweig, C., Elliott, J., Deryng, D., Ruane, A. C., Müller, C., Arneth, A., Boote, K. J., Folberth, C., Glotter, M., Khabarov, N., Neumann, K., Piontek, F., Pugh, T. A. M., Schmid, E., Stehfest, E., Yang, H., & Jones, J. W. (2014). Assessing agricultural risks of climate change in the 21st century in a global gridded crop model intercomparison. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 111(9), 3268-3273.
- Sachs, J. D. (2001). *Tropical underdevelopment*. Recuperado em 16 de março de 2023, de [https://www.nber.org/system/files/working\\_papers/w8119/w8119.pdf](https://www.nber.org/system/files/working_papers/w8119/w8119.pdf)
- Sachs, J., & Malaney, P. (2002). The economic and social burden of malaria. *Nature*, 415, 680-685.
- Sánchez, L., & Reyes, O. (2015). *Medidas de adaptación y mitigación frente al cambio climático en América Latina y el Caribe: una revisión general*. Recuperado em 16 de março de 2023, de [https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/39781/1/S1501265\\_es.pdf](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/39781/1/S1501265_es.pdf)
- Seiler, R. A., Hayes, M., & Bressan, L. (2002). Using the standardized precipitation index for flood risk monitoring. *International Journal of Climatology*, 22(11), 1365-1376.
- Stevanović, M., Popp, A., Lotze-Campen, H., Dietrich, J. P., Müller, C., Bonsch, M., Schmitz, M., Bodirsky, B. L., Humpenöder, F., & Weindl, I. (2016). The impact of high-end climate change on agricultural welfare. *Science Advances*, 2(8), e1501452.
- Tol, R. S. J. (2002). Estimates of the damage costs of climate change. Part 1: benchmark estimates. *Environmental and Resource Economics*, 21, 47-73.
- US Energy Information Administration – EIA. (2020). Recuperado em 16 de março de 2023, de [http://www.eia.gov/dnav/pet/pet\\_pri\\_spt\\_s1\\_a.htm](http://www.eia.gov/dnav/pet/pet_pri_spt_s1_a.htm)

- Windmeijer, F. (2005). A finite sample correction for the variance of linear efficient two-step GMM estimators. *Journal of Econometrics*, 126, 25-51.
- World Bank. (2020). Recuperado em 16 de março de 2023, de <https://datatopics.worldbank.org/world-development-indicators/>
- World Meteorological Organization – WMO. (2012). *Standardized Precipitation Index (SPI) user guide*. Recuperado em 16 de março de 2023, de <https://public.wmo.int/en/resources/library/standardized-precipitation-index-user-guide>

**Recebido:** Setembro 20, 2022

**Aceito:** Março 16, 2023

**JEL Classification:** Q50; Q54; Q56